

## Közetek törésének értékelése hagyományos és törésmechanikai módszerekkel

GÁLOS MIKLÓS –  
KÜRTI ISTVÁN –  
VÁSÁRHELYI BALÁZS

ETO: 620.17:622.02

Közetek tönkremenetelének folyamata a hagyományos homogén, illetve a repedésterjedéseken alapuló törésmechanika feltételrendszere szerint is értékelhető. Márványon végzett nagyszámú törési kísérlet sorozat eredményei szemléltetik a meghatározható anyagjellemzőket és azok használhatóságát a közet viselkedésének megítélésénél. A triaxiális vizsgálatokkal felvett törési határgörbék és a törésmechanikai kísérletekkel meghatározott feszültségintenzitási tényezők kritikus értékei légszáraz, vízzel telített és különböző számú fagyasztási ciklus utáni közetfizikai állapotban jól példázzák az értékelés összetettségét.

### 1. Bevezetés

A közetek tönkremenetele és ezen belül a törés feltételeinek megismerése a közetmechanika fontos kutatási területe. A kutatók elméleti és kísérleti módszerekkel töreksenek a közetek viselkedését meghatározó anyagjellemzők megismerésére. A folyamat értékelése történhet a klasszikus törésméletek, vagy az egyre fejlődő törésmechanika feltételrendszere szerint. Az elméleti megfontolások kísérleti igazolást igényelnek. Természetesen az így megszerzett vizsgálati tapasztalatok alapján bővíteni tudjuk a közetek viselkedését leíró függvénykapcsolatok értelmezési tartományát.

A törés és épen maradás határállapota szerinti hagyományos törési feltételek a feszültségi és alakváltozási határállapottokból kiindulva – megfelelően megválasztott elméleti megfontolásokkal alátámasztottan – alkalmasak a közet viselkedésének értékelésére. Ez azt jelenti, hogy a számításbavételnél a valóságot megfelelően megválasztott modell révén követhetjük. A folyamatot leíró függvénykapcsolathoz kiindulási adatként szükségünk van megfelelő anyagjellemzőkre, amelyeket célirányos triaxiális vizsgálatokkal határozhatunk meg.

Az idealizáló feltételezések miatt a határértékek csupán jó közelítésnek tekinthetők. Bizonyítja a leírtakat, hogy például a húzó- és nyomóvizsgálatoknál a próbatest nem az ideális tulajdonságokkal felruházott elemi cellaként viselkedik, hiszen a törés pillanatában nem az egész próbatest megy tönkre. Valóságban a próbatesten belül csak egy, vagy egyes felületek mentén jön létre a szakadás, illetve az elnyíródás, amely az anyagi folytonosság helyi megszakadásának továbbterjedéséből fejlődik ki.

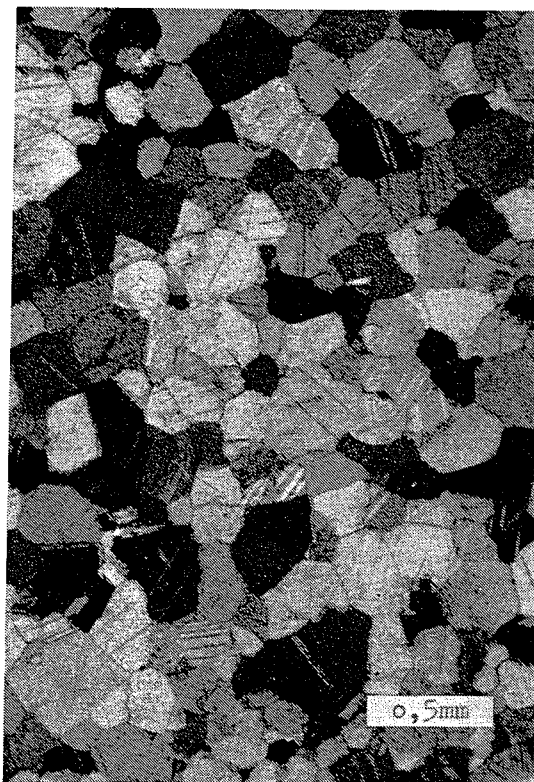
Napjainkban a kutatók figyelmébe az anyag mikroszerkezetét figyelembe véve a repedés kialakulásának és továbbterjedésének megismerése felé fordul. A korábban szinte teljes egészében acélokkal foglalkozó törésmechanika ma már rendelkezik a közetek viselkedését kutató irányzatokkal is. Hazánkban 1982-ben kezdtünk foglalkozni közetek törésmechanikai vizsgálatával a Budapesti Műszaki Egyetem Mechanikai Technológia és Anyagszerkezeti Intézetében és a Mérnökgeológiai Tan-

szék (korábbi nevén Ásvány- és Földtani Tanszék) közetfizikai laboratóriumában.

Kutatási munkánk során jelenleg a közetek viselkedését leíró anyagjellemzők meghatározásának vizsgálattechnikai kérdésein felül a gyakorlati hasznosítás lehetőségeivel foglalkozunk. Ebbe a kérdéskörbe tartozóan homogén, izotrop anyagnak tekintett márványon mind a hagyományos törésméletek szerint, mind pedig a törésmechanika feltételrendszere alapján elvégeztük a törési vizsgálatokat. A meghatározott anyagjellemzők bemutatásával szeretnénk felhívni a figyelmet a tönkremeneteli folyamat kutatásának fontosságára, a meghatározott anyagjellemzők használhatóságára.

### 2. Vizsgálati terv

A kutatási munka vizsgálati tervét korábbi kísérleteink tapasztalatai, az építési Kőanyagok vizsgálati szabványainak ide-



1. ábra. Márvány (Sivač szöveti képe (fénymikroszkóp, + pol.)

Márvány (Sivác) közetfizikai jellemzői

Közetfizikai állapot	Test-sűrűség	Látványos porozitás	Ultraszhang-sebesség	Rugalmassági modulus	Poisson-tényező	Nyomó-szilárdság	Húzó-szilárdság
	kg/m <sup>3</sup>	V%	km/s	GPa		MPa	MPa
Légszáraz	2820	0,345	4,18	49,76	0,30	150,85	6,25
Vízzel telítve	2822	0,678	6,13	47,61	0,29	136,04	6,33
25 fagy. után	2822	0,745	6,02	47,26	0,30	140,55	6,24
50 fagy. után	2826	0,849	6,04	40,80	0,30	138,36	5,93

vágó előírásai és a várható eredmény célirányának alapján állítottuk össze. Általános érvényűen leszögezzük, hogy kőzetek közetfizikai, közetmechanikai vizsgálatait mindig az általánosított háromfázisú kőzetmodell szemléleti rendjében végezzük és értékeljük. A kőzetmodellben a szilárd fázist a kőzetalkotó ásványok, a másik két fázist a pórus kitöltő anyagai jelentik.

A homogén, izotrop idealizáló feltételek szerint kiválasztott horvátországi (Sivác) márványt korábban hazánkban is építő- és burkolókként több helyen beépítették (pl. Budapesti Metró). Így viselkedésére és a viselkedését meghatározó anyagjellemzőkre gazdag vizsgálati tapasztalat áll rendelkezésünkre, amelyet a kutatási eredmények értékelésénél hasznosítani tudunk.

A márvány (Sivác) tömött szerkezetű, kristályos szemcsés szövetű átalakult kőzet. Színe fehér, enyhén szürkés árnyalatú. A kőzetalkotó kalcitkristályok csaknem azonos szemnagyságúak, izomorf szemalakúak. A kalcitkristályok egymáshoz szoros, szemcséközi kötással, mozaikosan kapcsolódnak. A kőzet szövetét az 1. ábrán bemutatott vékonycsiszolati fénykép jól szemlélteti.

A tömegösszetételi tulajdonságokat, amelyeket az építési kőanyagokra vonatkozó szabványsorozatba tartozó MSZ 18284/1 számú és az energiavezetési tulajdonságokat, amelyeket az MSZ 18286/1 számú vizsgálati szabvány szerint határoztunk meg, az 1. táblázatban foglaltuk össze.

A kőzet viselkedésének megismerésére a vizsgálati tervbe négyféle közetfizikai állapotban készülő vizsgálati csoportot állítottunk be: nevezetesen az alapállapotnak tekintett légszáraz közetfizikai állapoton kívül a vízzel telített, valamint a 25 és 50 fagyasztási ciklus utáni közetfizikai állapotban történő vizsgálatokat.

A törési határfeltétel hagyományos meghatározását az MSZ 18285/3 szabvány szerint triaxiális vizsgálatot végeztük.

A triaxiális vizsgálatok a

$$\sigma_1 = \sigma_2 \neq \sigma_3$$

feltétel szerinti I. terhelési esetben (kompressziós törés), terhelési lépcsőnként négyes ismétlési számmal készültek. A húzó határfeszültség értékét az MSZ 18285/2 szabvány szerinti hasító-húzóvizsgálattal (ún. Brazil-vizsgálattal) határoztuk meg.

A törési határfeltétel értékelésére a Mohr-féle törésmélelet alapján vettünk fel törési határgörbéket. A szóródó mérési eredményekre illesztett ún. zenitpontos módszerrel Balássy (1979) javaslata szerint

$$\tau = \sqrt{A\sigma + C}$$

alakú parabolával, illetve a fent említett szabvány Függelékében adott lehetőség szerint, korlátozott érvényességi tartománnyal a húzó- és nyomószilárdság értékeiből

$$\tau = \frac{b}{a} \sqrt{(\sigma + c)^2 - a^2}$$

hiperbolaszárny lineáris közelítésével, ahol

A és C a másodfokú parabola állandói, amelyek anyagjellemzőként kezelhetők,

a, b és c a húzó- és nyomószilárdságból számítható állandók:

$$a = \frac{2|\sigma_t|}{B-3} \quad b = \frac{|\sigma_t|}{\sqrt{B-3}} \quad c = -(a+|\sigma_t|) \quad B = \frac{\sigma_c}{|\sigma_t|}$$

A triaxiális vizsgálatok alapján felírhatjuk a törési határfeltételt az oktaéderes normál és nyíró főfeszültségekkel Gálos-Kürti (1986) szerint

$$\sigma_o = b_1 \tau_o + a_1$$

alakúan, ahol

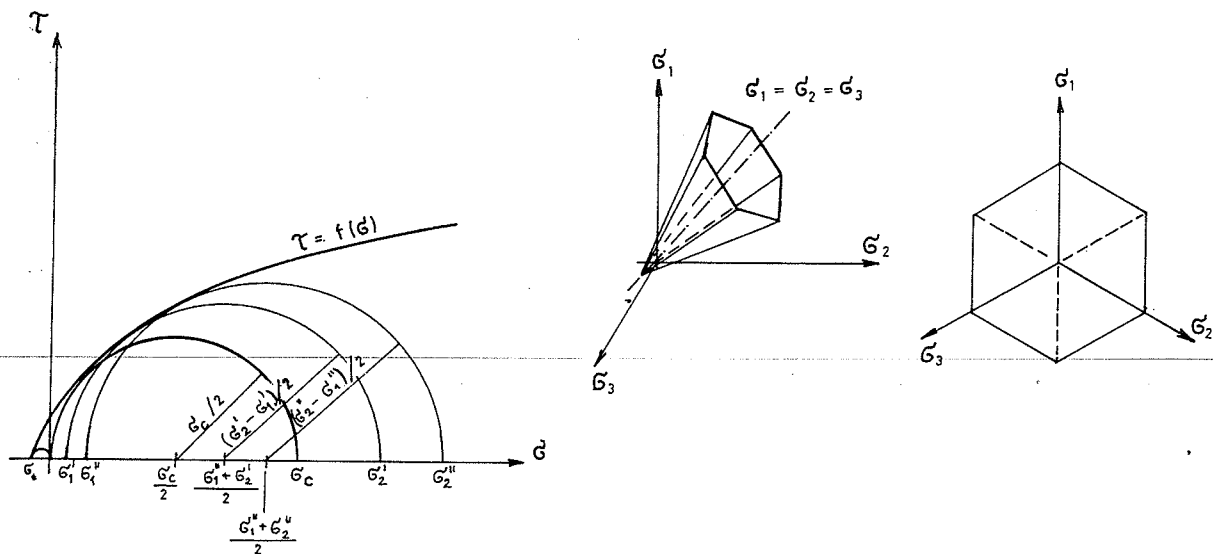
$$\sigma_o = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}; \quad \tau_o = \frac{1}{3} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2};$$

a és b kőzetfajtától függő anyagjellemzők, amelyeket a triaxiális kísérletekből határozhatunk meg.

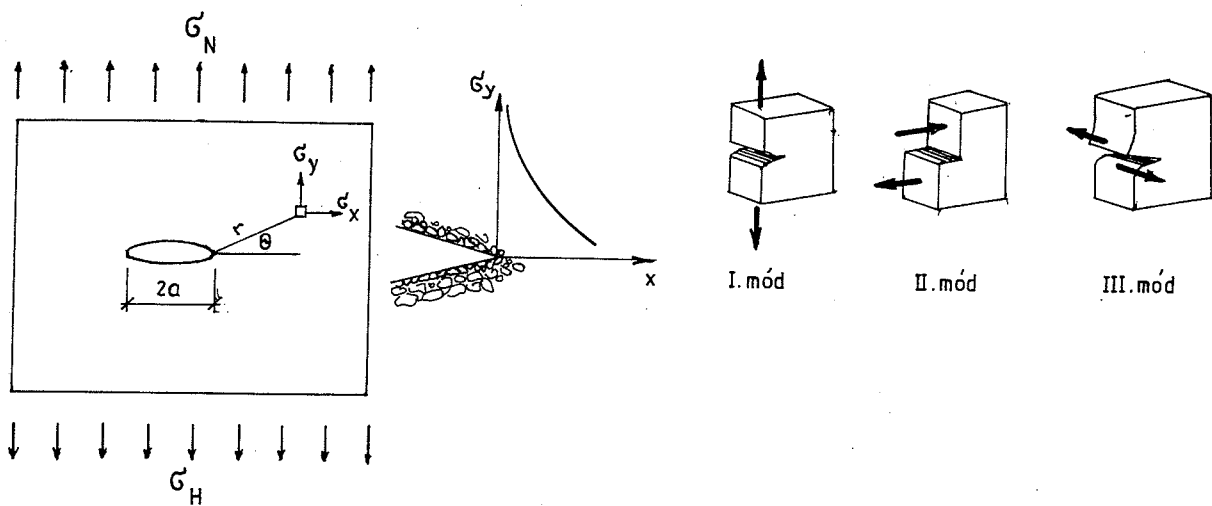
A törési határfeltétel megadásának módjait a 2. ábra szemlélteti.

A törés törésmechanikai értékelésének lehetőségét Griffith kutatási eredményei alapozták meg. Nem véletlen, hogy az ő figyelmét is a triaxiális vizsgálatok Mohr-elmélet szerinti kiértékelése fordította a repedésképződés irányába, hiszen a kitüntetett nyírási sík vizsgálata magában hordozza a törésmechanika alapkérdéseit. Kőzeteknél azért lehet, sőt kell használnunk a törésmechanikát, mert a „repedés”, amelyet a klasszikus törésmechanika mint alapfeltételt megkíván, a kőzetben pórusok, mikrorepedések formájában megtalálható.

A repedés terjedésének vizsgált és értékelte jellemzői a re-



2. ábra. Törési határgörbe megadásának választott módjai



3. ábra. Repedéscsúcs idealizált feszültségállapota

pedés általánosított alakjához, a repedéscsúcs körül kialakult feszültségállapot formájához és nagyságához, valamint a repedésterjedés energiamérlegének feltételrendszeréhez kötöttek. A törésmechanikai vizsgálatokat a lineárisan rugalmas törésmechanika elvei szerint végeztük. Abban az esetben, ha a repedéscsúcsot nézzük és a repedés alakjára megtesszük idealizáló feltételeinket, úgy a feszültségek zárt alakban megadhatók (3. ábra). Nevezetesen: elliptikus bemetszés esetén a  $\varrho \rightarrow 0$ , valamint a  $\sigma \rightarrow \infty$  határátmenetek bevezetésével a repe-

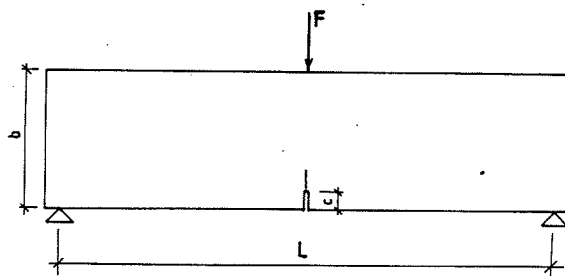
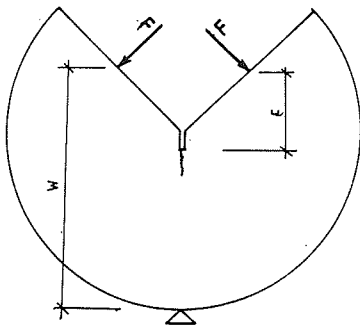
dés csúcsában levő feszültség-, illetve alakváltozás-mezőt matematikailag az alábbi módon írhatjuk le:

$$\sigma_{ij} = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot r)^{1/2}} (K_I f_{ij}^I + K_{II} f_{ij}^{II} + K_{III} f_{ij}^{III}),$$

ahol a repedés csúcsában létrejövő feszültségnövekedés intenzitását a polárkoordinátáktól  $r$  és  $\Theta$  – független  $K_I$ ,  $K_{II}$ ,

Folytatás az 51. oldalon

Folytatás a 46. oldalról



4. ábra. A törésmechanikai vizsgálatokhoz használt próbatetek

$K_{III}$  jellemzik. Az  $f_{ij}^k$  függvények dimenzió nélküliek, s egyedül a  $\Theta$ -tól függenek. A  $K_I$ ,  $K_{II}$ ,  $K_{III}$  feszültségintenzitási tényezőket pedig a repedési felületek lehetséges elmozdulásai szerint különböztetjük meg.

Az I. mód, egyszerű repedésnyílás, amikor is húzóterhelés hatására a repedés szélei szimmetrikusan távolodnak egymástól; a II. mód hosszirányú elnyíródás, amelyenél síkbeli nyírás hatására a repedés felületei a repedés síkjában egymáson elcsúsznak, és a III. mód – keresztirányú elnyíródás –, ahol a nem síkbeli nyírás hatására a repedés felületei a repedésterjedés irányára merőlegesen mozdulnak el.

A gyakorlatban az I. módnak van a legnagyobb jelentősége. Ilyen repedésmegnyílási mechanizmus működik a húzással, vagy hajlítással terhelt szerkezetekben. Ez lehetővé teszi, hogy értékelési munkánkhoz törésmechanikai anyagjellemzőként az I. mód szerint meghatározott feszültségintenzitási tényező kritikus értékét használjuk.

Kísérleteinkhez hasáb alakú próbatest hárompontos hajlítóvizsgálatát és bemetszett tárcsa hasítóvizsgálatát, az ún. „sajtpróbát” alkalmaztuk (4. ábra). A kétféle módszer kiválasztásának az volt a célja, hogy a különböző technikai feltételű vizsgálatot összehasonlíthassuk, hiszen például a hasáb alakú próbatestek kialakítása fűrómagokból bonyolult, viszont a tárcsa alakú próbatestek szeletelése egyszerűen megoldható feladat, így a mintavételi lehetőségek függvényében tudunk a módszerek között választani.

A hárompontos hajlítóvizsgálatot Gálos (1989) korábbi kísérleti eredményeivel való összevethetőség érdekében az acélokra vonatkozó MSZ 4927 szabványban adott alakú tényezővel értékeltük. A feszültségintenzitási tényező kritikus értéke:

$$K_I = \frac{6F \cdot L}{s \cdot b^2} \sqrt{c} Y,$$

ahol az  $Y = f\left(\frac{c}{b}\right)$  alakú korrekciós tényező:

$$Y = 1,99 - 2,47 \frac{c}{b} + 12,97 \left(\frac{c}{b}\right)^2 - 23,17 \left(\frac{c}{b}\right)^3 + \left(\frac{c}{b}\right)^4.$$

A tárcsa alakú bemetszett próbatest alkalmazhatóságát Czoboly-Gálos-Havas-Thamm (1986) dolgozta ki és javasolta a feszültségintenzitási tényező kritikus értékének meghatározására a

$$K_I = \frac{2F}{v \cdot w} \sqrt{c} Y$$

összefüggés alapján, ahol az  $Y = f\left(\frac{c}{w}\right)$  alakú korrekciós tényező:

$$Y = 174,43 - 1491,34 \frac{c}{w} + 4928,27 \left(\frac{c}{w}\right)^2 - 7193,96 \left(\frac{c}{w}\right)^3 + 3945,34 \left(\frac{c}{w}\right)^4.$$

A törésmechanikai vizsgálatok értékelő képleteiben használt betűjelek értelmezését a 4. ábra szemlélteti.

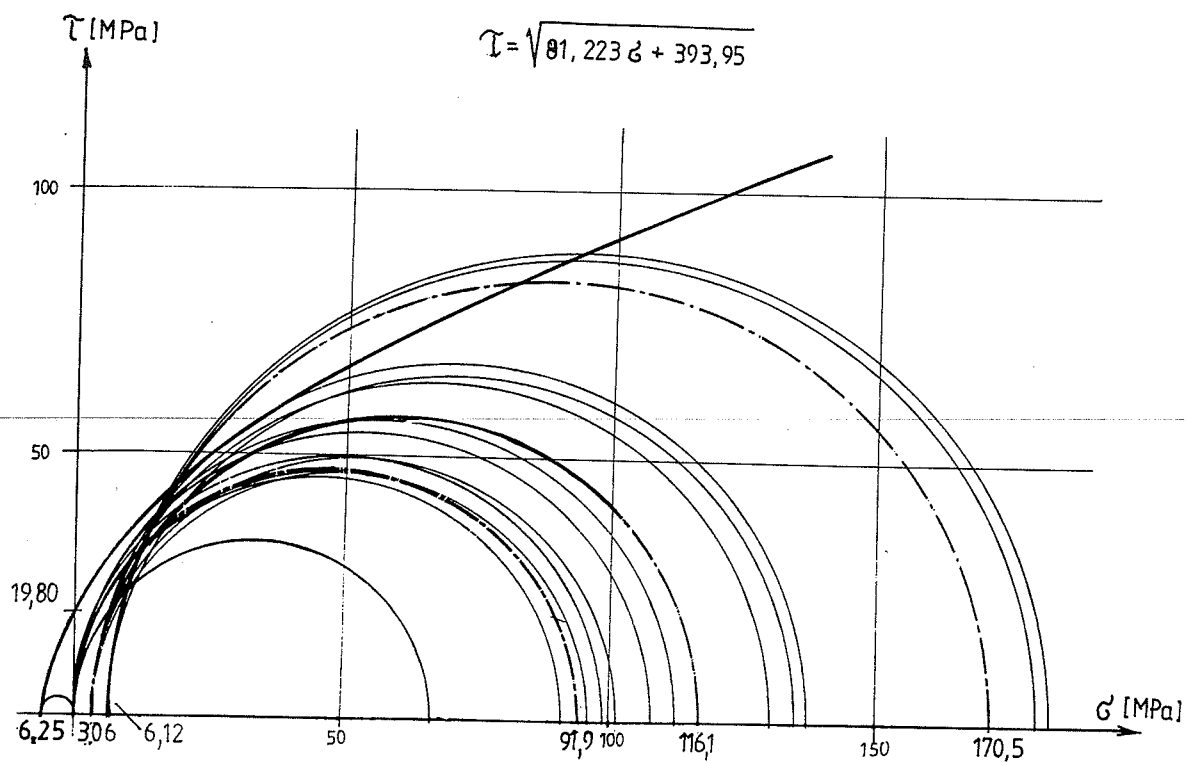
### 3. Vizsgálati eredmények

A törés feltételeinek kísérleti meghatározására az előzőekben ismertetekkel összhangban álló vizsgálati tervet készítettünk, amely alapján a márvány (Sivač) viselkedését meghatározó anyagjellemzőket a vizsgálat sorozat hagyományos és tö-

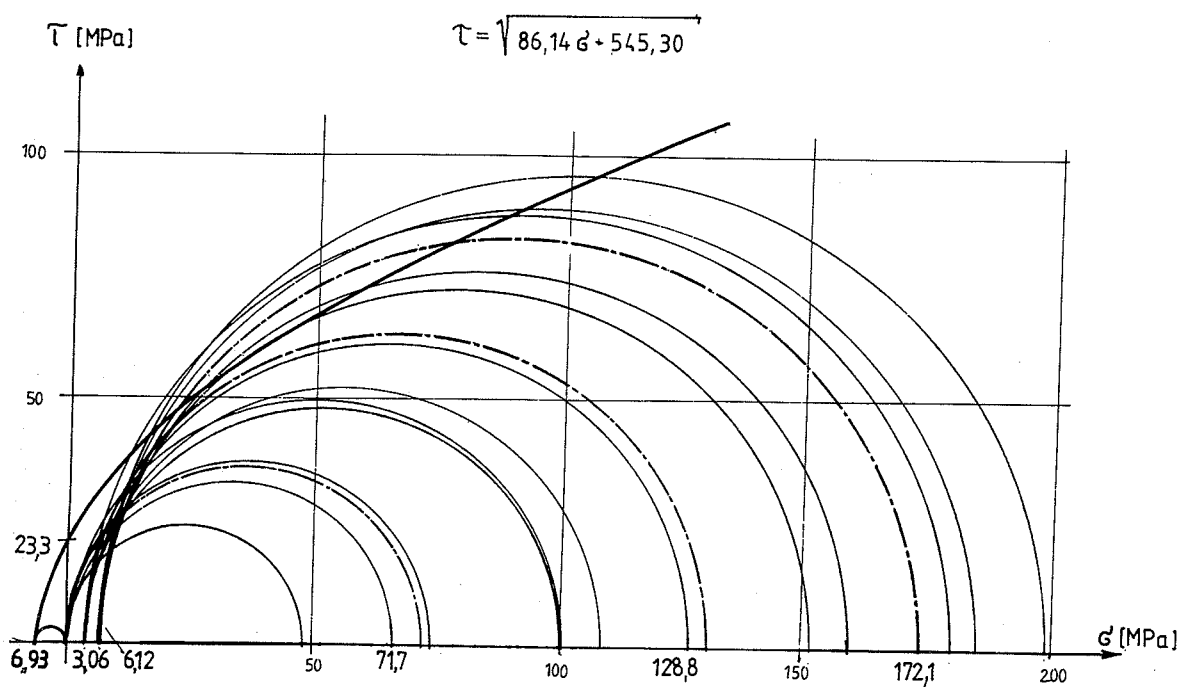
II. táblázat

A triaxiális vizsgálatok mérési eredményei

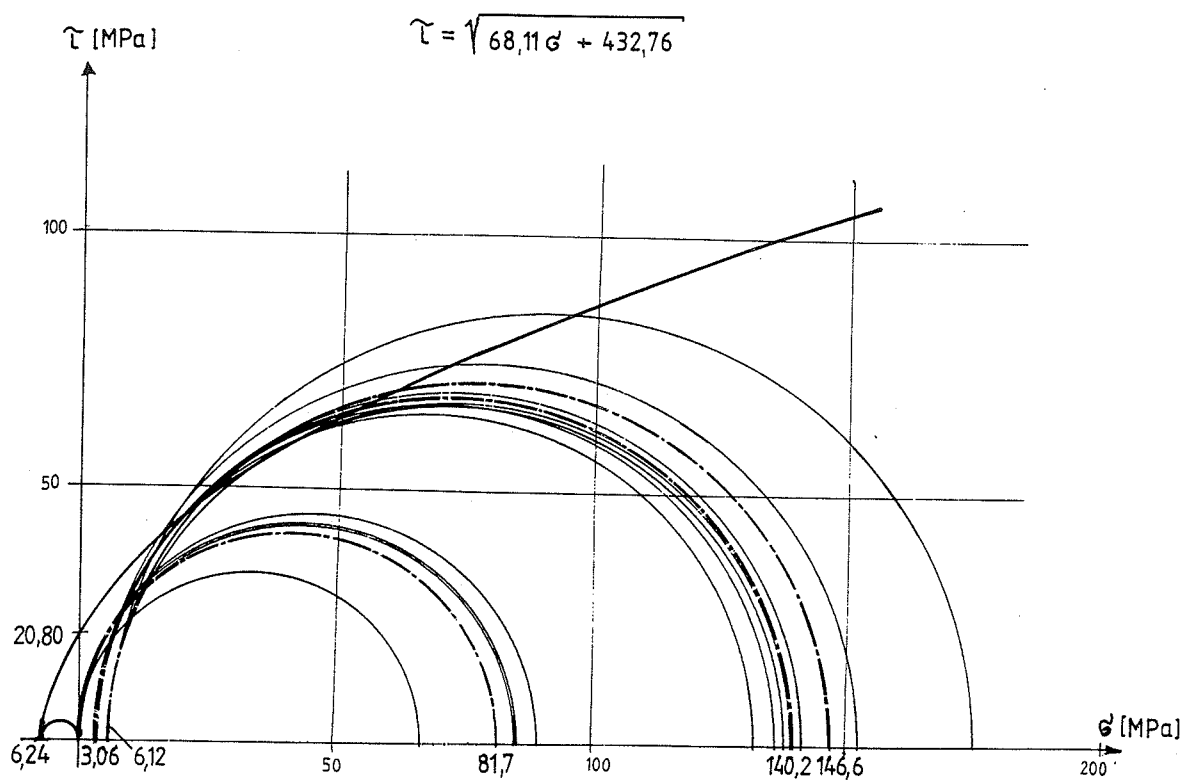
Kőzetfizikai állapot	$\sigma_2 = \sigma_3$	$\sigma_1$
	MPa	MPa
	0	94,75
Légszáraz	3,06	116,05
	6,12	170,48
	0	71,68
Vízzel telített	3,06	128,83
	6,12	172,05
	0	81,70
25 fagy. után	3,06	140,15
	6,12	146,58
	0	89,28
50 fagy. után	3,06	131,38
	6,12	176,75



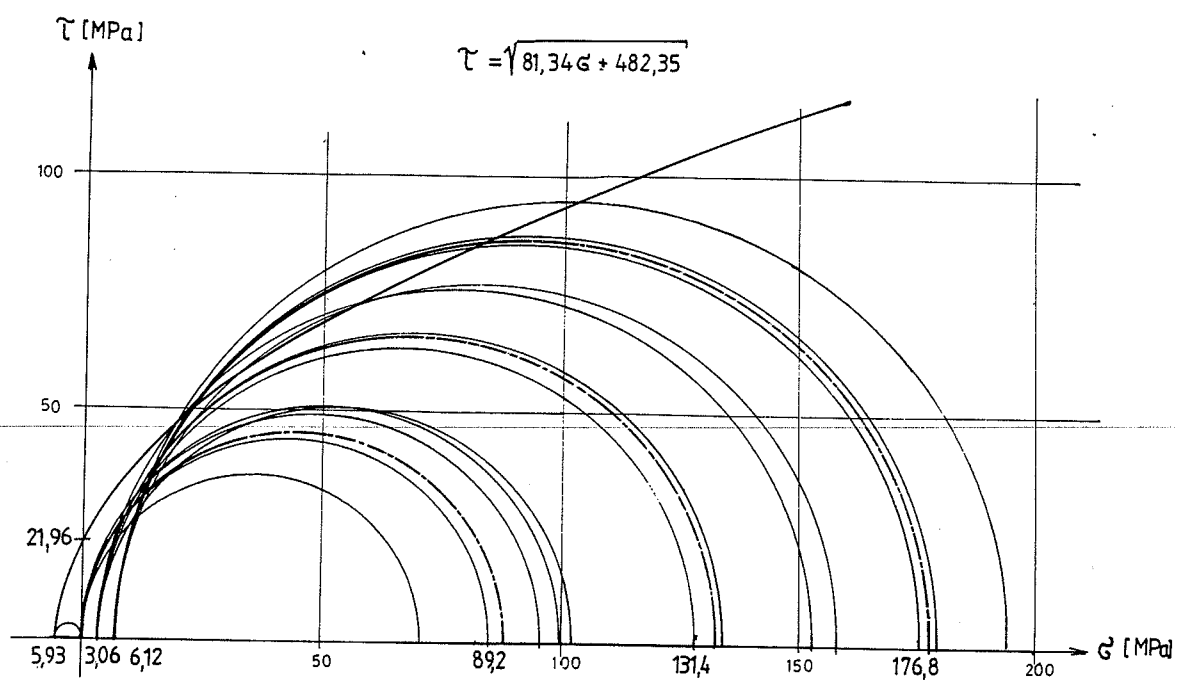
5. a) ábra. A törési határfeltétel másodfokú parabolával. Márvány (Sivac), légszáraz



5. b) ábra. A törési határfeltétel másodfokú parabolával. Márvány (Sivac), vízzel telített



5. c) ábra. A törési határfeltétel másodfokú parabolával. Márvány (Siváč), 25 ciklus után



5. d) ábra. A törési határfeltétel másodfokú parabolával. Márvány (Siváč), 50 fagyasztási ciklus után

résmechanikai kísérleteiből, a fent ismertetett szabványok és előírások rendelkezései szerint számítottuk, illetve képeztük.

A BME Mérnökgeológiai Tanszékének kőzetfizikai laboratóriumában levő olajhidraulikus triaxiális cellában (TRIAX) végzett vizsgálatok eredményeit a II. táblázatban foglaltuk össze. A közölt mérési eredmények alapján szerkesztett törési határgörbét az 5. és a 6. ábrán mutatjuk be. Az oktaéderes főfeszültségekkel meghatározott törési határfeltételt a légszáraz kőzetfizikai állapotban mért tönkremenetelre a 7. ábra szemlélteti. Az I. és II. típusú törési mód közötti átszámítást korábbi vizsgálataink alapján Gálos-Kürti (1986) javaslata szerint tettük meg.

A feszültségintenzitási tényező kritikus értékeit a III. táblázat tartalmazza. A táblázatból is kitűnik, hogy a hasáb alakú próbatestek hárompontos hajlítóvizsgálata csak légszáraz és vízzel telített kőzetfizikai állapotban készült el.

A vizsgálati eredmények alapján – felhasználva korábbi vizsgálataink eredményeit – néhány használható összefüggésre hívhatjuk fel a figyelmet.

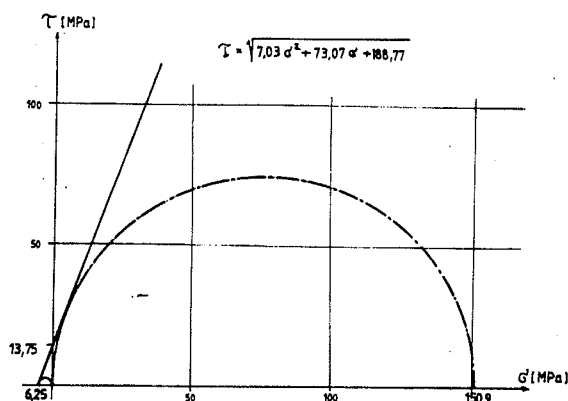
#### 4. A vizsgálati eredmények értékelése

A nagyszabású kísérletsorozat vizsgálati tervében célul tűz-

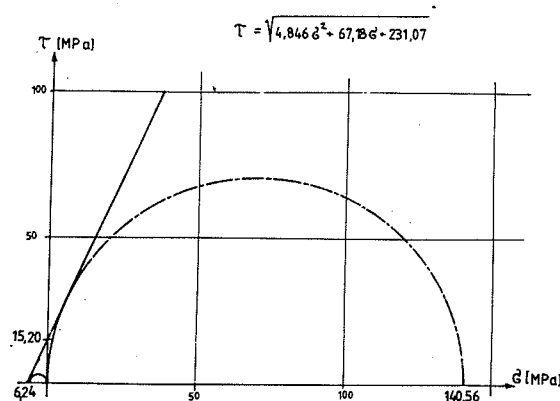
#### A törésmechanikai vizsgálatok eredményei

Kőzetfizikai áll.	Feszültségintenzitási tényező, $N/mm^{3/2}$		
	3x3x10	3x5x10	tárcsa
Légszáraz	12,9	17,65	21,99
Vízzel tel.	12,25	15,94	20,56
25 fagy. után			17,89
50 fagy. után			16,66

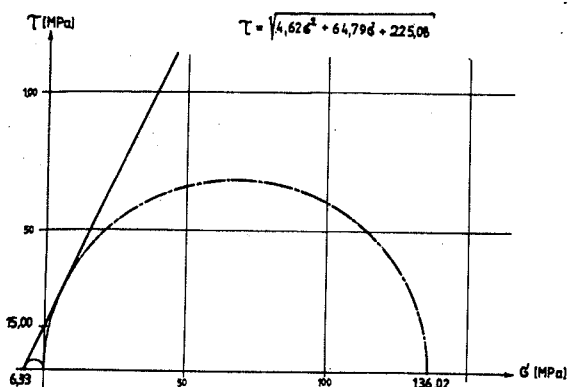
tük ki, hogy a külső fizikai hatásokra bekövetkező állapotváltozásokat a törés feltételeinek változási jellemzőivel értékelhesük. A kiválasztott márvány sajnos ennek a feltételnek nem felelt meg. Sem a vízzel történő telítés, sem pedig a 25 és 50 fagyasztási ciklusos időállósági vizsgálat jól értékelhető változást nem okozott a kőzetben. A légszáraz kőzetfizikai állapothoz mint alapállapothoz viszonyított változási jellemzők – az MSZ 18289/1 értelmezése szerint – 1,0 érték körüliek, ami azt jelenti, hogy a vizsgált márvány fagyálló.



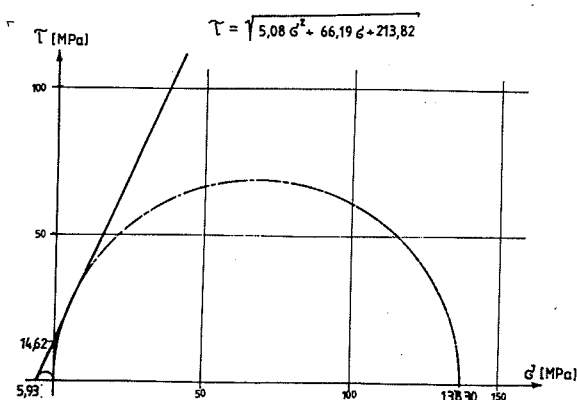
6. a) ábra. A magyar szabvány szerinti közelítő határgörbe. Márvány (Sivač), légszáraz



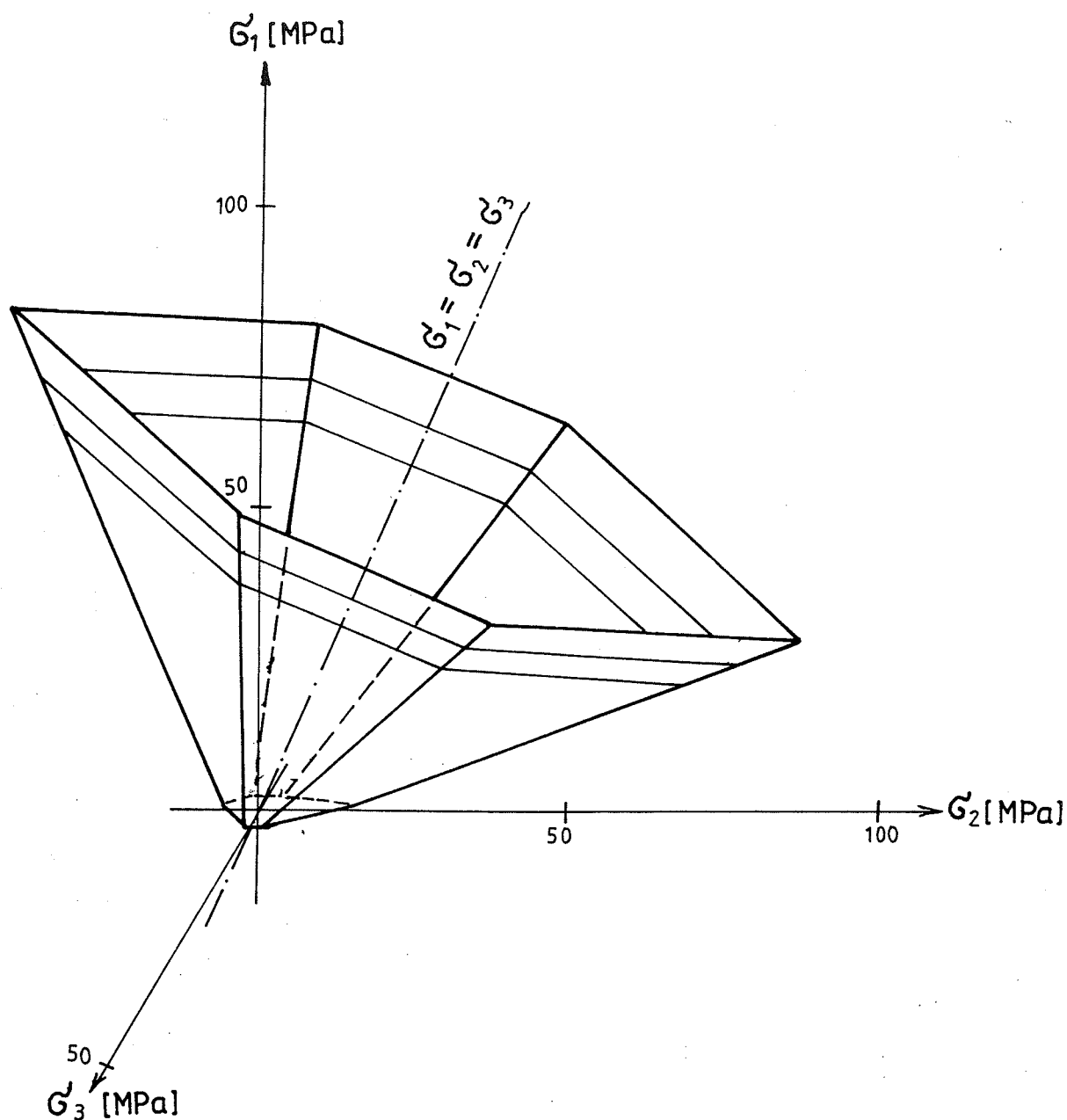
6. c) ábra. A magyar szabvány szerinti közelítő határgörbe. Márvány (Sivač), 25 ciklus után



6. b) ábra. A magyar szabvány szerinti közelítő határgörbe. Márvány (Sivač), vízzel telített



6. d) ábra. A magyar szabvány szerinti közelítő határgörbe. Márvány (Sivač), 50 fagyasztási ciklus után



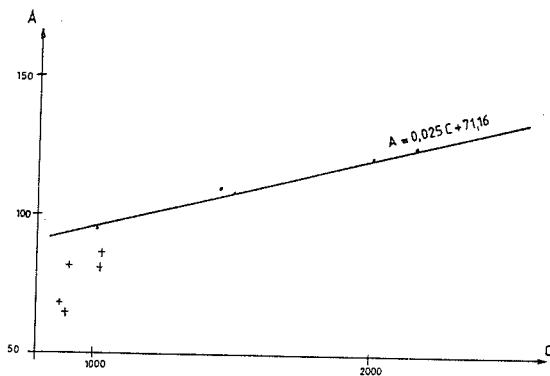
7. ábra. Törési határfeltétel oktaédres feszültségállapotban. Márvány (Siváč)

Változási jellemzők az MSZ 18289/1 értelmezése szerint

IV. táblázat

Változási jellemző	Rugalmassági modulus	Nyomó-szilárdság	Húzó-szilárdság	Feszültségintenzitási tényező		
				3x3x10	3x5x10	tárcsa
Vízzel tel. hat.	0,962	0,902	0,969	0,950	0,903	0,935
25 fagy. hat.	0,950	0,932	1,002			0,814
50 fagy. hat.	0,820	0,917	0,908			0,758





8. ábra. Összefüggés a parabolikus törési határgörbe anyagjellemzői között karbonátos kőzeteknél

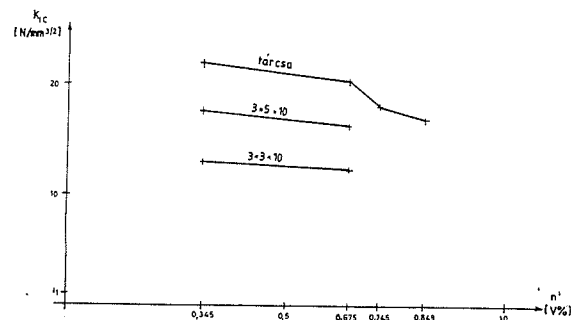
A törés határfeltételeként megadott törési határgörbék anyagjellemzőként kezelt állandóival képzett változási jellemzők közül a feszültségintenzitási tényező kritikus értéke jelezte legérzékenyebben a fagyasztás szerkezetroncsoló hatását. A változási jellemzőket a IV. táblázatban foglaltuk össze.

A vizsgálati eredményeket természetesen illesztettük korábbi vizsgálati eredményeink közé, megnézve azt, hogy az akkor tett megállapításaink nem szorulnak-e kiegészítésre, módosításra. Így ellenőriztük, hogy a Mohr-elmélet szerinti parabolikus határgörbe A és C állandója közötti, karbonátos kőzeteknél kimutatott összefüggésbe (Gálos-Kürti, 1988) hogyan illelnek be új adataink. A 8. ábrán a hazai és a francia triaxiális vizsgálati eredményekből számított értéksor mellett az itt ismertetett vizsgálatok eredményei is szerepelnek, bizonyítva megfigyeléseink jóságát.

A vizsgálati eredmények kiértékelésénél megállapíthattuk, hogy a törési határgörbék értelmezési tartományára az MSZ 18285/3 tág határt ad. A szabvány előírása szerint a húzó- és nyomószilárdság értékeiből számított határgörbe  $\sigma_c/2$ -ig használható. A 6. ábra tanúsága szerint ez már nagyon eltér a ténylegesen mért határgörbe jellegétől. Vizsgálataink alapján javasolhatjuk, hogy a közelítés érvényességét ne a nyomószilárdsághoz, hanem a kőzet húzószilárdságához rendeljék. Edigi tapasztalataink szerint az érvényességi határ  $4\sigma_c$  lehet.

A fagyasztás hatását a szilárd kőzetalkotók közötti kötés fellazulása, a pórusok megnyílása mutatja. Ez a folyamat jól követhető a feszültségintenzitási tényező változásával. A pórusok megnyílása továbbterjedő repedésként értelmezhető a kőzet szöveti rendszerében. A folyamatot jól szemlélteti a látszólagos (működő) porozitás és a feszültségintenzitási tényező közötti összefüggés, amelyet a 9. ábrán figyelhetünk meg.

A töréssel kapcsolatos triaxiális és törésmechanikai laboratóriumi vizsgálati eredmények részét képezik a kőzetek tönkremenetelével foglalkozó kutatási munkánknak. Tudjuk, hogy bármely vizsgálatsorozat, még akkor is, ha az szerteágazó és nagy kiterjedésű volt, csak egy-egy apró adalék lehet a töréssel kapcsolatos ismereteink sorában. A közölt eredmények azonban biztosítják annak lehetőségét, hogy a kutatási irányba tartozó későbbi vizsgálatokkal együtt kezelve további értékeléseket tehessünk.



9. ábra. A feszültségintenzitási tényező kritikus értékének változása a látszólagos porozitás függvényében

A háromfázisú kőzetmodell rendszerében végzett kutatás és értékelés azért is fontos, mert felhívja a figyelmet a kőzetalkotókra és a kőzetalkotók közötti kötés fontosságára. A tönkremenetel és ezen belül a törés határfeltételének megadása csak a kőzet kőzetfizikai anyagjellemzőivel együttesen lehetséges.

Tanulmányunkban a hagyományos és a törésmechanikai módszerekkel történő értékelést az előzőekben leírtak bizonyosságaként kezeltük egy rendszerben. Szeretnénk azt hangsúlyozni, hogy minden vizsgálati eredmény egy-egy lépéssel közelebb visz az anyag – esetünkben a kőzetek – viselkedésének megismeréséhez.

#### IRODALOM

- Balassy Z. (1979): A törési határgörbe meghatározása szóródó mérési eredmények esetén. *Bányászati Lapok*, 112. évf. 6. sz. 403–406.
- Czoboly E.–Gálos M.–Havas I.–Thamm F. (1986): Appropriate fracture mechanics specimens for testing rocks. *Fracture Control of Engineering Structures ECF 6*, Amsterdam Vol. III. 2.105–2.114.
- Gálos M.–Kürti I. (1986): Evaluation of the Results of Triaxial Tests According to Tresca's Failure Criterion. *Proc. of the Int. Symposium Large Rock Caverns, Helsinki Volume 2.*, B. I.1.1. 971–984.
- Gálos M. (1989): Mechanical tests to determine rock strength characteristics. *Akademie der Wissenschaften der DDR. Heft 15. High Pressure Investigations*. 149–153.
- Gálos M.–Kürti I. (1988): A kőzetek triaxiális vizsgálatának értékelése a Mohr-elmélet szerinti másodfokú határgörbével. *Bányászati és Kohászati Lapok*, 121. évf. 7. sz. 472–476.
- Somosvári Zs. (1990): Kőzetek képlékenységi és tönkremeneteli határállapotai. *Bányászati Lapok*, 123. évf. 2. sz. 83–93.; 3. sz. 159–168; 4. sz. 226–234.

Д-р. М. Галош, дипл. инж., канд. тех. наук.–И. Кюрти, дипл. инж.–Б. Вашархейи, дипл. инж.: **Оценка разрушения горных пород обычными методами и методами механического разрушения**

Процесс разрушения горных пород можно оценить по обычной однородности, а также по системе условий механики разрушения, основанной на распространении трещин. Определяемые показатели свойств горных пород и возможность их использования при оценке их поведения демонстрируются результатами большого числа серий исследований условий разрушения образцов мрамора. Предельные кривые разрушения, снятые при трёхосных испытаниях, а также критические величины коэффициентов интенсивности напряжений, определённые испытаниями по механике разрушения, проведёнными в воздушно-сухом, водонасыщенном состоянии образцов пород, после различных чисел циклов замораживания служат хорошим примером комплексности оценки свойств горных пород.

**Dr. M. Gálos-I. Kürti-B. Vásárhelyi: Die Bewertung des Bruchprozesses der Gesteine nach den konventionellen und bruchmechanischen Methoden**

Der Prozeß des Bruches bei den Gesteinen ist nach dem traditionellen, homogen-isotropen Bedingungssystem als auch auf Grund der bruchmechanischen Rißfortpflanzung zu interpretieren. Die Resultate einer großangelegten Bruchversuchserie über Marmor zeigen gut die bestimmenden Material-kennzeichen und deren Verwendung bei der Beurteilung des Gesteinsverhaltens. Einen guten Beispiel bilden für die Vielfältigkeit der Bewertung die aus den Triaxialversuchen festgelegten Bruchkurven und die Spannungs-intensitätsfaktoren (Mode I.) in den verschiedenen petrophysikalischen Zuständen – lufttrocken, wassergesättigt, gefroren – voran.

**Dr. M. Gálos-I. Kürti-B. Vásárhelyi: The qualification of rock fracture at traditional way and by fracture mechanics**

The rock fracture process is examined by traditional homogeneous-isotropic and fracture yield conditions. The extensive experimental series carried out at marble, present the rock-characteristics and their use relating to the rock behaviour examination. The paper demonstrates both the Mohr's envelope and the critical stress intensity factor (Mode I.) which were executed in airdry, saturated and different freezing cycles conditions of the rock material.

## KÜLFÖLDI HÍREK

**SPE gáztechnológiai szimpózium**  
Calgary, 1993. jún. 28–30.

Az SPE 1993. évi gáztechnológiai szimpóziumának témaköreit a Natural Gas Realizing the Potential célkitűzéssel lehet jellemezni. A Kutatás-termelési Ágazat néhány szakembere részt vett a rendezvényen. A termelési szakembereknek tájékoztatása céljából ezúton az előadások sorából válogatva kiemelünk néhány érdekesebb olyan témáját, amely hazai érdeklődésre is számot tarthat.

A plenáris ülés keretében több előadás hangzott el, amely az észak-amerikai gázpiac különböző aspektusait tárgyalta, különös tekintettel az alacsony és jelentősen ingadozó gázárakra.

John V. Miletoni, az Equitable Gas Company elnöke *Megújuló földgáz-technológiák, új fejlődési szakasz a földgázpiacon* címmel tartott előadást. Az energiaversenyben igen fényes lehetőségeket vázolt fel a földgáz újabb térhódítására, amely ezt igen kedvező árával, kihasználatlan termelő-szállító kapacitásával és környezetkímélő végtermékeivel teszi indokolttá.

A Gas Research Institute (GRI) kutatási-fejlesztési munkájával összhangban a fogyasztói kör bővítését az alábbi területeken jelzi:

- földgázüzemű autók, autók,
- energiatermelés, az ún. planar szilárd-oxidos földgázüzemű cellákkal a felhasználási helyeken és a földgázüzemű erőművek és kombinált ciklusú energiatermelő üzemekkel,
- légkondicionálás és hűtés abszorpciós berendezésekkel,
- a cseppfolyós földgázellátás (közúti) és -felhasználás terjedése.

Az új alkalmazásokra több példát említ. Érdekességként jelzi, hogy az USA-ban 1993-ban kb. 50 000 földgázüzemű autó fog futni ezek számát az AGA 2010-ig 11 millióra tervezi. A jelentős fejlődés motorjaként kezeli a már említettekben túl az ellátási és felhasználási berendezések fejlesztési és szabványosítási munkálatait és gázértékesítők hasonló tevékenységét a megfelelő kiszolgálás területén.

A GRI egyik kutatási programjáról számolt be a 26156 sz. előadás *Fejlesztések a földgázkezelés és -tisztítás költségeinek csökkentésére* címmel.

Az eljárás és HW-fejlesztés ismert és új kezelési folyamatok kereskedelmi bevezetésére történt. Ezeket egy multivariable process control optimization (MVC) programcsomag kezeli.

Az alkalmazott főbb gázkezelési eljárások:

- kriogén expanzió,
- hűtött mosóolajos abszorpció,
- gázkonzenzárum-frakcionálás,
- aminos abszorpciós műveletek,
- kénkinyerő módszerek.

Külön foglalkoztak olyan új folyamatok korszerűsítésével és használatba vételével mint:

- R-BTEX eljárás (aromások kinyerése glikolregeneráló fejtájakból),
- Lítium-bromid bázisú abszorpciós hűtés,
- Cellulóz-acetát membrános (Grace-típusú) eljárás,
- CO<sub>2</sub>-mentesítő eljárás,
- Folyékony redox kénkinyerő módszerek!

Az előadásban részletezett eljárás-korszerűsítések és komputeres folyamatoptimalizáció célja a termelési költségek csökkentése végső soron a fogyasztói árak védelme érdekében. Az utóbbi, a MOL Rt. KTÁ-t is érdeklődő témakörben a GRI speciális konferenciát szervez 1994. május hónapban.

A pittsburghi egyetem kutatókollektívája új kutatási eredményeiről számolt be a *Gázhidrátképződés dinamikus viszonyoknál és a diamondoidok jellemzői* (25164 sz. kiadvány) c. előadásában. Ezeket az anyagokat, mint a termelésnél és szállításnál fellépő szilárd lerakódások okozókat vizsgálták a képződés és bomlási feltételek, illetve az oldhatóságuk szempontjából. Konklúzióként említik, hogy a dinamikus viszonyok hatása a hidrátképződésre 0 °C fölött igen jelentős, míg ezen érték alatt igen szerény.

Analitikus modellt dolgoztak ki a gázhidrátok bomlásának és a megszilárdult diamondoidok (telített policiklikus szerves anyagok  $C_{4n+6}H_{4n+12}$ ,  $n = 1, 2, 3$  esetén adamantén, diamantén, triamantén) csővezetékbeli történő oldására. Utóbbiak oldására jó oldószerként a CO<sub>2</sub>-ot, a xilolt és a toluolt mérték ki.

Érdekes témát analizál az SPE 2617 számú előadásában a louisianai egyetem kollektívája *Vásárolt gáz újraeladása a termelt gáz eladása helyett* címmel. A címbeili elhatározást analizálják a rövid (szezonális csúcsárak) és a hosszú (áremelkedés) távú spekulációkból kiindulva. Modellt építettek fel, amely a vásárolt és eladott gáz közötti árkülönbséget érzékenységet vizsgálja az eltelt időszak, illetve az évi diszkont-érték függvényében és ennek alapján ajánlanak megfelelő döntéseket.

Számunkra is jól hasznosítható előadást tartott H. A. Lechner, az ÖMV AG képviselője *Modern gáztermelés alacsony gázáraknál: a gáztermelési folyamatok költségeire épített aktivitás* címmel.

Az előadás olyan gazdasági modellt mutat be, amely számítja egy kút vagy egy mező hozzájárulását a vállalati átlagos működési eredményekhez. A vizsgálati módszer három döntési szintet határoz meg, amelyeknek hozzájárulási határértékére elvégzett működési költség-számítás készíti elő a döntést.

Ezek a szintek:

- kúthozam,